

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①1 DE 37 42 867 A1

⑤1 Int. Cl.:
B25J 13/08
A 01 J 5/00
A 01 J 7/00

②1 Aktenzeichen: P 37 42 867.5
②2 Anmeldetag: 17. 12. 87
④3 Offenlegungstag: 6. 7. 89

DE 37 42 867 A1

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:
Rabold, Karl, Prof. Dr., 7170 Schwäbisch Hall, DE;
Schmidberger, Ernst, Dipl.-Ing.; Rauh, Wolfgang,
Dipl.-Ing.; Lu, Jianzhong; Schreiber, Leo, Dipl.-Ing.,
7000 Stuttgart, DE; Grimm, Hartmut, Dr., 7275
Ditzingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum Fügen von Elementen in entsprechende Aufnahmeelemente eines Objekts

Beschrieben wird eine Vorrichtung zum Fügen von Elementen in Aufnahmeelemente eines Objekts, deren Lage und Größe in drei Dimensionen innerhalb bestimmter Erwartungsbereiche variabel ist, mittels einer mehrachsigen Handhabungseinrichtung, deren Bewegung eine Steuereinheit steuert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich durch die Kombination folgender Merkmale aus:

- zwei elektronische Kameras sind derart angeordnet, daß ihr Abstand größer als die Abmessung des Erwartungsbereichs in Richtung der Verbindungslinie der Kameras ist, und daß sie den gesamten Erwartungsbereich unter einem Winkel erfassen,

- die Ausgangssignale der beiden Kameras sind an eine Bildauswerteeinheit angelegt, die die Ausgangssignale in ein digitales Bild zur Erfassung der Kontur der Aufnahmeelemente umwandelt,

- die Steuereinheit extrahiert aus den 2*2D-Objektdaten zweidimensionalen Daten signifikanter Konturmerkmale und berechnet aus diesen Daten die dreidimensionale Position der signifikanten Konturmerkmale und steuert entsprechend die Handhabungseinrichtung.

DE 37 42 867 A1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Fügen von Elementen in Aufnahmeelemente eines Objekts, deren Lage und Größe in drei Dimensionen innerhalb bestimmter Erwartungsbereiche variabel ist, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bei der Automatisierung von Fügevorgängen besteht häufig das Problem, daß weder die Lage noch die genaue Größe der Aufnahmeelemente in bzw. an die zu fügenden Elemente gefügt werden sollen, genau bekannt sind. In der Regel ist es vielmehr so, daß die Lage und/oder die Größe der Aufnahmeelemente innerhalb bestimmter Bereiche von Objekt zu Objekt unterschiedlich sind bzw. Toleranzen aufweisen.

Beispielsweise bei der Automatisierung von Melkvorgängen stellt sich das Problem, daß nicht nur die Größe und die jeweilige Stellung der verschiedenen Kühe in den Melkständen unterschiedlich ist, sondern daß darüberhinaus auch noch die Form und die Größe der Euter schwanken.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Fügen von Elementen in entsprechende Aufnahmeelemente eines Objekts, deren Lage und Größe in drei Dimensionen innerhalb bestimmter Erwartungsbereiche variabel ist, derart weiterzubilden, daß der Fügevorgang auch bei unterschiedlicher Lage und Größe der Aufnahmeelemente sicher durchgeführt werden kann.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist mit ihren Weiterbildungen in den Patentansprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung basiert auf dem Grundgedanken, daß mittels zweier elektronischer Kameras, beispielsweise zweier Fernsehkameras eine stereoskopische Aufnahme des Erwartungsbereichs für die Lage der Aufnahmeelemente durchgeführt wird. Aus den Ausgangssignalen dieser Kameras wird ein digitales Bild, beispielsweise ein Binärbild, d. h. eine reines schwarz/weiß-Bild (Anspruch 8) gewonnen, aus dem wiederum signifikante Konturmerkmale der Aufnahmeelemente, an bzw. in die zu fügenden Elemente gefügt werden sollen, extrahiert wird. Aus der Lage dieser signifikanten Konturmerkmale im Aufnahmebereich der jeweiligen Kamera sowie der (vorgegebenen) Orientierung der beiden Kameras zueinander ist es dann möglich, die Koordinaten des Aufnahmeelements im Erwartungsbereich zu bestimmen. Entsprechend dieser Koordinatenbestimmung erfolgt dann die Steuerung der Mehrachsigen Handhabungseinrichtung, also beispielsweise eines handelsüblichen Industrieroboters.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß ist weiterhin erkannt worden, daß es für eine genaue Absolutbestimmung der Koordinaten erforderlich ist, die Abbildungsverläufe der eingesetzten Kameras zu kennen. Dabei ist überraschender Weise erfindungsgemäß festgestellt worden, daß die auch bei typgleichen Kameramodellen auftretenden geringen Herstelltoleranzen aufgrund der Verwendung einer stereoskopischen Bestimmung der Lage der Aufnahmeelemente einen großen Einfluß auf den Absolutfehler der Koordinatenbestimmung haben. Deshalb erfolgt erfindungsgemäß eine Kalibrierung der eingesetzten Kameras, um individuell für jede Kamera den Abstand zwischen Projektionszentrum und Bildebene sowie die Raumorientierung des Kamerasystems zu bestimmen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann — wie be-

reits einleitend ausgeführt — für beliebige Fügevorgänge, beispielsweise zum selbsttätigen Ansetzen von Abgasschläuchen an die Auspuffrohre von Kraftfahrzeugen verwendet werden. Besonders vorteilhaft kann die erfindungsgemäße Vorrichtung jedoch in automatischen Melkständen verwendet werden, um selbsttätig die Melkbecher an die Euter einer im Melkstand befindlichen Kuh anzusetzen. Es ist nämlich aus einer Reihe von Gründen wünschenswert, den Melkvorgang zu automatisieren, da häufiges Melken der Kühe sich zwar positiv auf die Eutergesundheit und die Milchqualität auswirkt, jedoch sehr personalintensiv ist und so den Milchpreis erhöht.

Bei der Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum automatischen Ansetzen der Melkbecher an die Euter von Kühen sind bevorzugt die beiden Kameras derart angeordnet, daß sie die zu melkende Kuh frontal aufnehmen. Als signifikantes Konturmerkmal werden die Zitzen spitzen herangezogen, da die Zitzen spitzen unabhängig von der tatsächlichen Größe und Form des Euters leicht beispielsweise durch Vergleich des digitalen Ausgangssignals mit einem für Zitzen spitzen typischen Ausgangssignal identifiziert werden können.

Als Kameras können beliebige Kameras, beispielsweise Fernsehkameras verwendet werden. Im Falle der im Anspruch 3 gekennzeichneten bevorzugten Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung können darüberhinaus auch Wärmebildkameras (Anspruch 4) eingesetzt werden, die sich besonders zum Aufnehmen der Euter eignen.

In jedem Falle ist es jedoch vorteilhaft, wenn eine zusätzliche Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist, die bevorzugt gemäß Anspruch 5 als Auflicht-Quelle ausgebildet ist.

Im Falle eines sich bewegenden Objekts, wie beispielsweise einer Kuh, kann es — um Verwischungseffekte oder dgl. zu vermeiden — vorteilhaft sein, wenn darüberhinaus die Beleuchtungseinrichtung in Art einer Stroboskop-Lichtquelle ausgebildet ist (Anspruch 6), da dann Bewegungsunschärfen etc. sicher vermieden werden.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung wird eine hohe Positioniergenauigkeit erreicht. Die erreichbare Positioniergenauigkeit kann jedoch unter Umständen bei bestimmten Anwendungsfällen noch nicht genügen. Deshalb ist es gemäß Anspruch 7 von Vorteil, wenn im Bereich des zu fügenden Objekts ein zusätzlicher Sensor, der wiederum eine elektronische Kamera, aber auch ein Magnetfeldsensor etc. sein kann, vorgesehen ist, der das Aufnahmeelement erfaßt und dessen Ausgangssignal zur Feinkorrektur der Positionierung der Handhabungseinrichtung dient.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben, in der zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung bei Verwendung in einem automatisierten Melkstand,

Fig. 2 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Bestimmung der Koordinaten eines signifikanten Konturmerkmals.

Fig. 1 zeigt schematisch die Anordnung der Bildebenen *B 1* und *B 2* der erfindungsgemäß verwendeten Kameras in bezug auf die Euter 1 bis 4 einer Kuh in einem automatisierten Melkstand. Dabei ist mit einem Pfeil 5 die Bewegungsrichtung der Kuh beim Eintreten in den Melkstand bezeichnet.

Im Bereich der Bildebenen *B 1* und *B 2* ist schema-

tisch das Signal angedeutet, das die Kontur der Euter 1 bis 4 auf den Sensoren der Kamera angibt. Als signifikante Teilgeometrie eines Euters kann der Konturverlauf und das untere Ende (Zitzen spitze) verwendet werden. Die räumliche Lage dieser Teilgeometrie stellt die Steuergröße für das Ansetzen des Melkbechers dar.

Um nun die Zitzenlage aus dem gesamten, mit anderer Information überlagerten Videobild zu extrahieren, wird zunächst ein digitales Bild, das beispielsweise ein Binärbild (reines Schwarz-Weiß-Bild), aber auch ein Grauwertbild sein kann, erzeugt und aus diesem Bild die auf den Sensor der Kamera projizierte Euter-Außenkontur extrahiert.

Aus diesen Konturdaten werden mittels Bildvergleichs-Operationen die Zitzen spitzen extrahiert. Durch Bewerten der beiden stereooptischen Abbildungen liegen damit zwei zweidimensionale, reduzierte Datensätze bezüglich der Eutergeometrie vor.

Die Bestimmung der dreidimensionalen Koordinaten wird im folgenden anhand von Fig. 2 erläutert. Hierzu wird zunächst ein Koordinatensystem $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ der Bildebene B_1 der ersten Kamera zugeordnet.

Die Z_1 -Achse ist gleichzeitig die optische Achse der Kamera₁. Analog wird das Koordinatensystem $O_2-X_2-Y_2-Z_2$ der Bildebene der Kamera₂ zugewiesen.

In dem vorgegebenen Koordinatensystem $O-X-Y-Z$ sind aufgrund von vorher durchgeführten Kalibriervorgängen die Lage der beiden Kameras und ihre innere Orientierung bekannt. Es seien:

$W_{x_1}, W_{y_1}, W_{z_1}$ = die Drehwinkel des Koordinatensystems $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ um die $X-Y-Z$ -Achse des Koordinatensystems $O-X-Y-Z$

$W_{x_2}, W_{y_2}, W_{z_2}$ = die Drehwinkel des Koordinatensystems $O_2-X_2-Y_2-Z_2$ um die $X_1-Y_1-Z_1$ -Achse des Koordinatensystems $O_1-X_1-Y_1-Z_1$

Aus den einzelnen Winkeln der Drehungen um die Koordinatenachsen von $O-X-Y-Z$ können die entsprechenden einzelnen Transformationsmatrizen bestimmt werden. Es ergibt sich aus

$$\begin{aligned} W_{x_1} &=> Ax_1 \\ W_{y_1} &=> Ay_1 \\ W_{z_1} &=> Az_1 \\ W_{x_2} &=> Ax_2 \\ W_{y_2} &=> Ay_2 \\ W_{z_2} &=> Az_2 \end{aligned}$$

Die Transformationsmatrix A_1 zur Transformation der Koordinaten vom Koordinatensystem $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ zu $O-X-Y-Z$ und die A_2 von $O_2-X_2-Y_2-Z_2$ zu $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ werde wie folgend definiert:

$$\begin{aligned} P(x, y, z) &= A^* P(x_1, y_1, z_1) + O_1(x, y, z) \\ P(x_1, y_1, z_1) &= A^* P(x_2, y_2, z_2) + O_2(x_1, y_1, z_1) \end{aligned}$$

Erfindungsgemäß wird nun ein Punkt P_2 im Koordinatensystem $O_2-X_2-Y_2-Z_2$ ausgesucht. Zusammen mit dem Projektionszentrum H_2 werden dessen Koordinaten in das Koordinatensystem $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ transformiert:

$$\begin{aligned} P_2(x_1, y_1, z_1) &= A_2^* P_2(x_2, y_2, z_2) + O_2(x_1, y_1, z_1) \\ H_2(x_1, y_1, z_1) &= A_2^* H_2(x_2, y_2, z_2) + O_2(x_1, y_1, z_1) \end{aligned}$$

Aus geometrischen Gründen muß das Bild von P_1

eines räumlichen Punktes entsprechend P_2 gleichzeitig auf zwei Ebenen liegen. Eine dieser Ebenen wird von den drei Punkten H_1, H_2 und P_2 bestimmt, wobei gilt:

$$(\overline{O_1 P_1} - \overline{O_1 H_1}) \cdot (\overline{H_1 H_2} \times \overline{H_2 P_2}) = 0$$

und die andere wird von den Achsen O_1-X_1 und O_1-Y_1 bestimmt, wobei gilt

$$Z_1 = 0$$

Diese Gleichungen definieren eine Gerade auf der Bildebene der Kamera₁. Somit kann Punkt P_1 ermittelt werden.

Aus den Ergebnissen der Punkte P_2 und P_1 wird ein räumlicher Punkt P definiert. Die Bedingungen sind:

$$\begin{aligned} \overline{O_1 P} &= \overline{O_1 H_1} + \lambda_1 \cdot \overline{H_1 P_1} \\ \overline{O_1 P} &= \overline{O_1 H_2} + \lambda_2 \cdot \overline{H_2 P_2} \end{aligned}$$

Die Koeffizienten λ_1 sowie λ_2 (λ_2 ist nicht zwingend nötig) können durch die Gleichungen

$$\vec{k} \cdot (\overline{O_1 H_1} + \lambda_1 \cdot \overline{H_1 P_1}) = \vec{k} \cdot (\overline{O_1 H_2} + \lambda_2 \cdot \overline{H_2 P_2})$$

mit

$$\vec{i} \cdot (\overline{O_1 H_1} + \lambda_1 \cdot \overline{H_1 P_1}) = \vec{i} \cdot (\overline{O_1 H_2} + \lambda_2 \cdot \overline{H_2 P_2})$$

oder mit

$$\vec{j} \cdot (\overline{O_1 H_1} + \lambda_1 \cdot \overline{H_1 P_1}) = \vec{j} \cdot (\overline{O_1 H_2} + \lambda_2 \cdot \overline{H_2 P_2})$$

ermittelt werden.

Hier sind \vec{i}, \vec{j} und \vec{k} die Einheitsvektoren der Achsen des Koordinatensystems $O_1-X_1-Y_1-Z_1$. Mit Hilfe der Matrix A_1 können somit die Koordinaten des räumlichen Punktes P

$$P(x, y, z) = A_1 \cdot P(x_1, y_1, z_1)$$

bezüglich des Koordinatensystems $O-X-Y-Z$ berechnet werden.

Die vorstehend beschriebenen Vorgänge werden von der Steuereinheit ausgeführt, so daß aus den stereoskopischen Bildern die räumlichen Koordinaten der Zitze von der Steuereinheit ermittelt und entsprechend die Handhabungseinrichtung, beispielsweise ein handelsüblicher, nicht dargestellter Industrieroboter gesteuert wird.

Vorstehend ist die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens beschrieben worden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Fügen von Elementen in Aufnahmeelemente eines Objekts, deren Lage und Größe in drei Dimensionen innerhalb bestimmter Erwartungsbereiche variabel ist, mittels einer mehrachsigen Handhabungseinrichtung, deren Bewegung eine Steuereinheit steuert, gekennzeichnet durch die Kombination folgender Merkmale:

– zwei elektronische Kameras sind derart angeordnet, daß ihr Abstand größer als die Abmessung des Erwartungsbereichs in Richtung der Verbindungslinie der Kameras ist, und daß sie den gesamten Erwartungsbereich unter ei-

nem Winkel erfassen,

— die Ausgangssignale der beiden Kameras sind an eine Bildauswerteeinheit angelegt, die die Ausgangssignale in ein digitales Bild zur Erfassung der Kontur der Aufnahmeelemente umwandelt, 5

— die Steuereinheit extrahiert aus den D-Objektdaten 2-dimensionalen Daten signifikanter Konturmerkmale und berechnet aus diesen Daten die 3-dimensionale Position der signifikanten Konturmerkmale und steuert entsprechend die Handhabungseinrichtung. 10

2. Vorrichtung Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kameras individuell hinsichtlich Vergrößerungsfaktor und Raumorientierung kalibriert sind. 15

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2 zum Ansetzen von Melkbechern an Kuheuter insbesondere in automatischen Melkständen, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Kameras die Kuh frontal von vorne aufnehmen, und daß das signifikante Konturmerkmal die Zitzen spitze und die Zitzenorientierung ist. 20

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronischen Kameras Wärmebildkameras sind. 25

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine als Auflicht-Quelle ausgebildete geregelte Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist. 30

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungseinrichtung in Art eine Infrarot-Stroboskop-Lichtquelle ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß angrenzend an das zuzufügende Element ein weiterer Sensor vorgesehen ist, der das Aufnahmeelement erfaßt und dessen Ausgangssignal zur Feinkorrektur der Position dient. 40

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das digitale Bild ein Binärbild oder ein Grauwertbild ist. 45

45

50

55

60

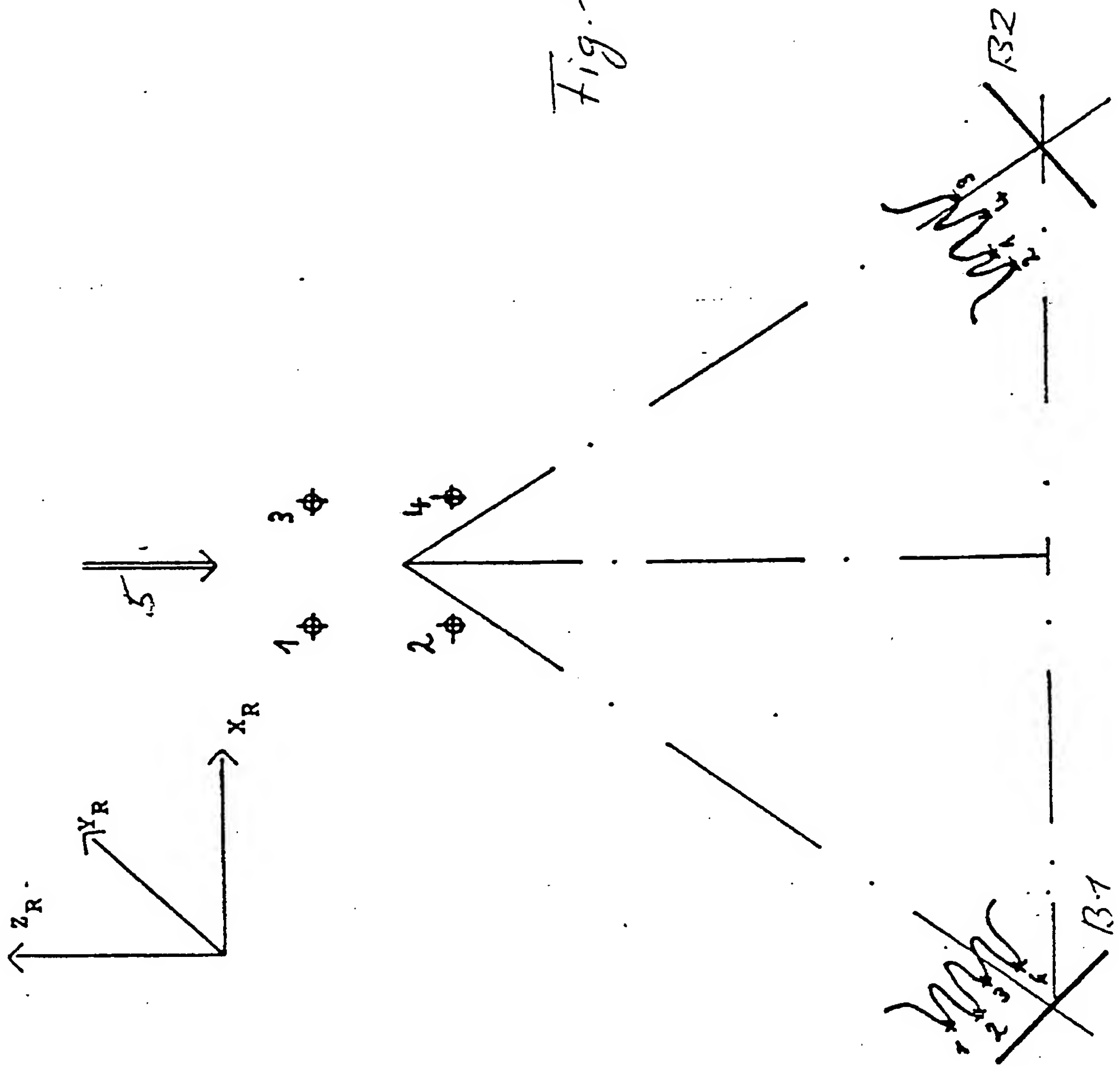
65

Nummer: 3742867
 Int. Cl. 4: B25J 13/08
 Anmeldetag: 17. Dezember 1987
 Offenlegungstag: 6. Juli 1989

3742867

12

Fig. 1



13*

3742867

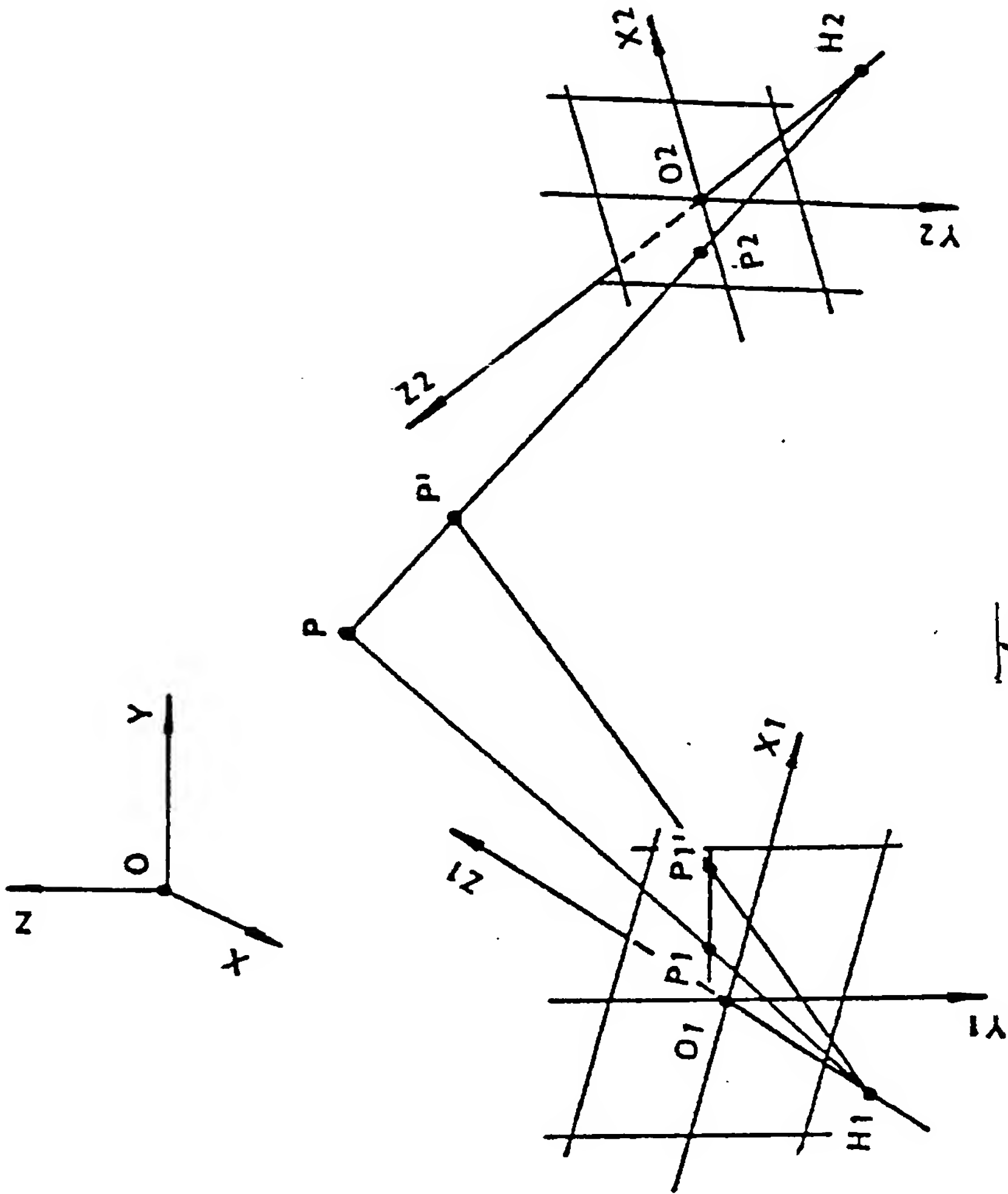


Fig. 2